

2004 年全国光电技术学术
交流会论文集
(下)

二〇〇四年十月 厦门



目 录

一 光电总体技术

1. 红外近距格斗空空导弹发展展望.....樊会涛等 (1)
2. 固定区域内对红外防空导弹的防御.....陈晓明等 (6)
3. 红外警戒系统设计中一些问题的探讨.....张建新等 (10)
4. 未来精确打击导弹武器中的导引头技术.....汪朝群 (14)
5. 光电制导武器与光电技术.....范金荣等 (18)
6. 复合制导导弹的现状及其发展.....方有培等 (23)
7. 外层空间红外成像系统性能分析.....林 涛等 (27)
8. 红外成像制导自动识别跟踪性能评估系统的研究.....祁月辉等 (31)
9. 反舰红外制导巡航导弹面临的光电威胁环境.....赵 强 (36)
10. 红外空空导弹波段选择与发展分析.....黄士科等 (41)
11. 红外与雷达隐身在机载上的应用.....王 宏 (46)
12. 非制冷红外探测器数字伺服控制系统的设计.....李为民 (51)
13. 无人机自主着陆视觉系统研究.....朱大勇等 (55)
14. 炮兵无人机载光电稳定平台重要指标的确定.....高洪兴等 (61)
15. 国外军用直升机光电对抗装备技术发展综述.....孙伟通等 (65)
16. 引战配合是激光近炸引信总体设计的核心.....张正辉 (69)
17. 针对 YAL-1A 型机载激光的对抗分析.....何俊发等 (73)
18. 空间对抗中的激光武器.....任国光等 (77)
19. 高能激光武器的应用与发展.....欧阳艺等 (83)
20. 模拟红外制导武器对海上目标特征的选取方法研究.....王 迅等 (87)
21. 激光光斑跟踪器的研制.....季云飞等 (90)
22. 高速光电扫描侦察系统的研究.....田桂荣等 (92)
23. 基于 FPGA 的并行 FIR 滤波器设计.....宋晓鑫 (97)
24. 车载转台 U 型架动态特性分析.....穆远东等 (101)
25. 美俄强激光武器的发展情况.....王 迅 (104)

二 光电探测、制导及目标特性研究

26. 激光主动成像制导技术.....杨树谦 (107)
27. 光电武器的控制应用与对抗方法探讨.....陈晓明等 (110)
28. 光学照相侦察及反侦察技术综述.....赵勐杰等 (116)
29. 捷联成像导引头视线角速率的提取问题研究.....林 喆等 (122)
30. 光电制导技术与对抗研究.....孙 静 (127)
31. 弹道导弹中段突防红外对抗技术分析.....陈萍萍等 (131)

32. 二次光电成像系统对 $1.06\mu\text{m}$ 激光探测能力研究	刘正云等 (136)
33. 高速飞行器自主式惯性/红外成像制导技术研究	张义广等 (140)
34. 激光雷达三维像对精确制导的作用	孙剑峰等 (144)
35. 根据大气辐射特征进行目标探测的波段选择	范伟等 (148)
36. 完全“冻流”近似下的波前重构技术	谢文科等 (155)
37. 大气传输模型对输入参数的敏感性分析研究	刘浩等 (159)
38. 空间目标表面光散射特性测量与理论建模	王明军等 (166)
39. 空间目标可见光散射特性模拟测量研究	王淑华等 (171)
40. 激波和窗口气动热辐射效应研究	杨晓颖等 (175)
41. 目标特性对目标-背景对比度的影响	王毅等 (181)
42. 湍流大气中高斯谢尔光束波面位错	张逸新等 (187)
43. 天空背景红外辐射特性测量研究	李学智等 (192)
44. 几种模式大气湍流的等效性分析	强希文等 (197)
45. 空间部分相干光束在大气中的传输特性	蒲继雄等 (200)
46. 目标与环境光学特性研究现状和发展动向	赵世明 (203)
47. 哈得曼波前测量方法在气动光学研究中的应用	姜宗福等 (207)
48. 透视美军隐身技术发展	葛强胜等 (211)
49. 国外光电对抗战术应用研究	沈长有等 (216)
50. 舰船防护用组合式激光诱饵的设计	杨希伟等 (219)
51. 激光制导武器攻击特点及其烟幕干扰作用分析	葛强林等 (223)
52. 舰载烟幕干扰对抗激光制导反舰导弹的战术研究	高东华等 (228)
53. 激光主动探测回波识别技术研究	赵铭军等 (231)
54. 飞机红外伪装与隐身技术分析	刘益民等 (236)
55. 红外与毫米波复合隐身分析	王自荣等 (239)
56. 烟幕的现状与发展趋势	杨帆等 (242)
57. 水雾遮蔽性能的计算和分析	许波等 (246)
58. 水雾的红外衰减性能实验与分析	陈兵等 (250)
59. 高光谱遥感与陆基导弹阵地伪装	王家营等 (255)
60. 导弹逼近紫外告警技术	宁永刚等 (259)
61. 导弹紫外告警技术应用分析	马进 (265)
62. 基于导弹羽烟紫外辐射特性的紫外预警技术	赵选科等 (267)
63. 基于大气湍流理论的激光压制干扰效果评估及仿真实现方法	邢晖等 (272)
64. 机载光电预警探测系统的体制研究	倪树新 (278)
65. 星载空间目标光电跟踪控制研究	徐小琴等 (281)
66. 星载紫外探测浅析	石凤等 (285)

三 光电子器件技术

67. 正交偏振激光器及其应用的发展	张书练 (289)
68. 硬边衍射光束的计算模拟	吕百达等 (299)
69. 新一代极轨气象卫星用红外探测器的进展	龚海梅等 (305)

70. 自适应红外焦平面器件成像系统盲元补偿·····	范心田等 (311)
71. 用腔倒空产生小于 3 纳秒的 Q 开关激光脉冲·····	朱少岚等 (314)
72. 可重构光系统中的动态可调器件技术研究·····	戴恩光等 (317)
73. 红外焦平面阵列的响应漂移研究·····	刘会通等 (322)
74. 资源遥感用红外多谱段探测器组件性能探讨·····	瞿文生 (327)
75. 激光二极管抽运 Tm: Ho: YLF 激光器的输出特性·····	张新陆等 (331)
76. 基于斐索干涉仪的多普勒激光雷达测量低空风场·····	刘继桥等 (335)
77. 用全息透镜和 CCD 探测激光辐射方向·····	王红霞等 (339)
78. 激光成像雷达大气传输仿真·····	李侠其等 (342)
79. LD 泵浦 Nd: GdVO ₄ 晶体主动调 Q 激光特性研究·····	杨克建等 (347)
80. 双通道 Z 折叠电光调 Q 射频波导 CO ₂ 激光器主被动差频稳定性研究·····	田兆硕等 (351)
81. 相干 CO ₂ 激光雷达距离像噪声抑制研究·····	李 琦等 (355)
82. 激光在晶体中传输产生的热透镜效应研究·····	陈子伦等 (358)
83. DPL 中热不稳定性对调 Q 脉冲的影响·····	蔡德芳等 (362)
84. 端面抽运调 Q DPL 中激光脉冲场分布的数值研究·····	王石语等 (364)
85. 射频放电激励板条 CO 激光器的脉冲工作特性·····	王新兵 (369)
86. 亚皮秒脉冲激光局部辐照 CCD 探测器的效应实验·····	黄绍艳等 (372)
87. 基于 GPIB 总线的半导体激光器特性参数测试系统·····	杨明伟等 (376)
88. 判断激光威胁等级的模糊决策研究·····	程玉宝等 (380)
89. 成像激光雷达微弱信号提高信噪比的方法·····	杨春沪等 (384)
90. 弹载微光 CCD 成像系统发展研究·····	姜忠宝等 (388)
91. 红外武器系统对相控阵雷达作用距离研究·····	毛宏霞等 (391)
92. 大视场激光引信目标识别方法研究·····	吕 华等 (394)
93. 基于 VHDL 设计综合的扫描控制·····	李邦军 (397)
94. 线性调频非扫描激光雷达·····	李 旭等 (402)
95. 基于小波分析的一种全新激光引信模式的建立·····	杨悦丰等 (407)
96. KTP 晶体倍频特性分析·····	尹经祥等 (412)
97. 半导体激光器温度控制器的研究·····	赵毅强等 (418)
98. 手持式激光测距机定向棱镜腔 OPO 激光器·····	王小兵等 (422)
99. 激光对抗信号模拟器初步设计·····	李金亮 (425)
100. 光学相阵列激光束敏捷控制·····	吴丽莹等 (429)
101. 自动调焦液晶透镜控制电极的设计·····	方 运等 (433)
102. 衍射光栅自准直结构实现窄线宽激光输出·····	黄 珂等 (437)
103. 美国机载激光器的技术发展·····	陈 兢 (440)
104. 高功率 DPL 激光器光束质量研究·····	杨文是等 (444)
105. 灯泵钛宝石可调谐激光器输出特性研究·····	周海龙等 (449)
106. 8 字形腔皮秒脉冲掺 Yb ³⁺ 光纤激光器·····	马海全等 (455)
107. 新型高能固体热容激光器的研究进展分析·····	刘天华等 (458)
108. 布拉格反射镜制作及其在光电子领域的应用·····	王勇刚等 (462)
109. 1310nm LD 组件高低温循环寿命的实验研究·····	苏美开等 (466)
110. 偏振特性对激光箔条角散射的影响分析·····	张 军等 (469)

111. 532nm 激光雷达的低对流层大气消光特性的研究	李洪敬等 (472)
112. 小型气溶胶激光雷达及其系统校准	薛国刚等 (476)
113. 提高激光雷达作用距离研究	李冬梅等 (481)
114. 激光测距机的几种虚警抑制措施	任建国等 (485)
115. 二氧化碳激光器在激光测距机中的应用研究	陶 禹等 (488)
116. 亚纳秒淬灭腔染料激光器	肖伟伟等 (492)
117. 用 SPSS 评定激光器性能的方法研究	赵民全等 (495)
118. 固体热容激光器脉冲工作方式下板条温度和应力分布模型	万学斌等 (501)
119. 相对论电离波前导致的探针光频率变换	颜立新等 (504)
120. 一种激光光斑采集与分析系统	李文煜等 (507)
121. K9 玻璃表面的 1064nm 激光损伤	胡建平等 (511)
122. 0.53 μ m 强激光侦察告警系统检测方法研究	张建辉等 (515)
123. 一种基于牛顿插值算法的激光方位简易测量方法	刘 瀚等 (519)
124. 离子束清洗在激光薄膜中的应用	张大伟等 (522)
125. 空间交会激光相位测距鉴相新技术研究	邵珠法等 (526)
126. 含能材料激光点火的氧平衡问题研究	项仕标等 (530)
127. XMZ7-110C XMZ7-80C 型高平均功率脉冲氙灯	刘 力等 (533)
128. 光纤陀螺中法拉第效应的理论仿真和实验测量	张桂才等 (537)
129. DFB 光纤激光器及其应用	姜典杰等 (542)
130. 保偏光纤阵列制作中偏振轴对准工艺研究	张 岩等 (545)
131. IFOG 偏置误差分析及其导航角误差的估算	李永兵等 (549)
132. 光纤陀螺用宽谱光源的强度噪声及其抑制	杨远洪等 (553)
133. 光纤环圈绕制方法的发展状况及关键技术	闵春华等 (557)
134. 高功率光纤激光器及其在光电对抗领域的应用前景	赵尚弘等 (561)
135. 闭环干涉式光纤陀螺温度漂移的改进马氏链模型辨识方法	钱 峰等 (565)
136. G 级多路数据光纤传输系统的设计与实现	张海兵等 (569)
137. 光纤电流传感器的研究新进展	蒙 文等 (572)
138. 可调谐单频环形腔掺铒光纤激光器的研究	王 林等 (526)
139. γ 辐照对 InGaAs 红外探测器性能影响的研究	黄杨程等 (579)
140. 焦平面探测器应用系统的设计与实现	王明昌等 (582)
141. 铁电薄膜红外焦平面阵列的研究进展	吴传贵等 (587)
142. 基于邻域双向外推的虚拟微扫红外焦平面像素倍增技术	顾国华等 (591)
143. 金属纳米粒子光学特性的研究	周海光等 (595)
144. 大热容材料的红外伪装效果分析	崔宝生等 (598)
145. 超高真空深低温工作的红外探测器窗口吸附物的特性分析	刘大福等 (603)
146. 保护环在碲镉汞红外探测器中对少子扩散抑制效应的研究	贾 嘉等 (607)
147. 光伏 InSb 器件钝化层不稳定性分析	杜红燕等 (612)
148. 退火对硫化后的 P ⁺ 型 InP 表面性能的影响	庄春泉等 (617)
149. P-i-N 结构 AlGaIn 外延材料的高分辨 X 射线衍射研究	游 达等 (620)
150. X 射线双轴衍射摇摆曲线的计算机模拟	王庆学等 (624)
151. 离子后处理技术对氧化锆薄膜的改性	张东平等 (628)

152. 退火处理对氧化镁薄膜光学特性的影响.....喻志农等(632)
153. 纯氧低温原位溅射沉积 PZT 铁电薄膜.....曾亦可等(637)
154. (100)面偏向 $\langle 111 \rangle$ A 15° GaAs 衬底上生长的 ZnO 薄膜 XRD 特性.....郑 凯等(641)
155. 硫化温度对硫化 FeS 制备二硫化铁薄膜的影响.....钟南保等(645)
156. 用椭偏光谱法研究掺铬的半绝缘砷化镓的光学性质.....张瑞锋等(648)
157. 温度对 CVDZnS 生长的影响.....付利刚等(641)
158. 不同紫外光照强度下氮化镓光导器件响应时间的研究.....许金通等(654)
159. $\text{PbSc}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3$ 铁电薄膜制备及微结构分析.....胡 勇等(657)
160. 基于 PPLN 的中红外 CW QPM-OPO 技术发展.....鞠有伦等(661)
161. 基于 DSP 的 APS 太阳敏感器.....陈凡胜等(666)
162. 新型光波导材料——光子晶体光纤.....李启成等(670)

四 光学系统设计及光学元件加工技术

163. 超轻型高分辨率空间 CCD 相机的光机设计.....沈为民等(673)
164. 折/衍混合超光谱红外成像光谱仪离轴系统设计.....杨新军等(677)
165. 提高人眼波前传感器信噪比的实验研究.....高卫华等(683)
166. 大口径球面计算全息图检测样板的制作研究.....李凤有等(686)
167. MOEMS 光学系统的发展与应用.....耿 凡(690)
168. 一种无扫描器测距成像方案设计.....严惠民(695)
169. 动基座光学仪器两种基本构造形式瞄准线稳定时像倾斜特性分析.....张坤石等(698)
170. 液晶光学相控阵相位延迟单元的数值模拟.....徐 林等(703)
171. 红外搜索与跟踪系统中光学指向器的设计.....孙 波等(708)
172. 计算全息法(CGH)检测大口径凹非球面系统的研究.....刘 华等(712)
173. 用计算全息简化光学相关识别系统.....盛兆玄等(716)
174. 超二代 MCP 阴极生长的反射光监控技术.....叶结松等(721)
175. 双随机相位编码光学图像加密的无透镜实现.....周 朴等(724)
176. 锗基底 8~11.5 μm 减反射膜研究.....宋洪君等(727)
177. KDP 晶体铣削力特性实验研究.....张飞虎等(730)
178. 大口径光学表面超精密铣削加工的平面度误差分析.....张文生等(734)
179. 玻璃应力对精密光学仪器可靠性的影响及应采取的措施.....李德培(738)
180. 透红外大尺寸氧氟化物玻璃研究.....袁新强等(743)
181. 傅里叶变换红外光谱仪复数光谱辐射定标方法.....张天舒等(747)
182. 空间编码消畸变投影系统的研究.....刘 晨等(752)

五 图像处理与目标识别技术

183. 一种基于混合概率密度估计的盲解卷积新算法.....杨 杰等(754)
184. 基于确定性退火技术的分类器设计.....曹治国等(760)
185. 基于图论的图像分割研究进展.....桑 农等(765)
186. 数学形态学在机场目标识别中的应用.....刘 岩等(770)

187. 景象匹配置信度分析和估计	邹腊梅等 (774)
188. 强背景杂波条件下运动的弱小目标检测方法	李吉成等 (779)
189. 焦平面红外图像异值扫描消噪与自适应增强算法	胡旭等 (783)
190. 基于结构特征的遥感图像机场目标识别	周焰等 (787)
191. 云杂波背景图像序列中弱小运动目标检测算法研究	张兵等 (793)
192. 旋转不变的下视景象匹配和目标识别	钟胜等 (799)
193. 基于形态面形态学和 Kohonen 神经网络的小目标检测算法	张兆宁等 (803)
194. 基于图像绘制技术的红外场景模拟	左峥嵘等 (807)
195. 自主交会对接中运动参数的估计	徐刚锋等 (812)
196. ATR 与人在回路的选择	宋福志 (818)
197. 自动目标识别技术在飞航导弹上的应用	陈红伟等 (822)
198. 气动光学迭代盲目反卷积图像复原算法	刘纯胜等 (825)
199. 红外图像被动测距技术研究	杨卫平等 (829)
200. 一种实用的点源目标配准方法	陶冰洁等 (833)
201. 一种图像多小波域矢量量化策略	彭宁嵩等 (837)
202. 小波分析在实时红外系统目标识别中的应用与实现	李佳等 (842)
203. 红外舰船图像的目标分割方法研究	崔颖等 (846)
204. 通过图像分析获取红外成像系统的调制传递函数	徐春梅等 (849)
205. 一种飞行目标跟踪方法	程科等 (855)
206. DCT 的相似性及其在图像匹配中的应用	于振红等 (858)
207. 基于 DSP 红外图像处理技术	熊飞等 (863)
208. 一种最小化行能量的图像分割方法	陈良瑜等 (867)
209. 基于异或算法的复杂地面固定目标匹配	张麟瑞等 (870)
210. 气动光学效应降晰函数辨识 $E-\sigma$ 算法研究	赵刻等 (875)
211. 基于平移不变和小波域局部邻域方差估计的去噪方法研究	苏涛等 (879)
212. 红外图像中机场跑道的复原及提取	朱宪伟等 (883)
213. 图像角点检测方法综述	杨必武等 (887)
214. 分层搜索在景象匹配中的应用研究	何芳芳等 (891)
215. 低信噪比红外图像的快速统计法边缘提取	高阳等 (895)
216. 应用于红外图像特征优选的方差与相关系数综合法	李军梅等 (900)
217. 红外图像序列的目标增强和检测跟踪	张凤超等 (905)
218. 基于小波变换的气动光学效应图像复原	杨秋英等 (910)
219. 一种用于粒子场全息图中粒子目标的检测图像处理办法	蒲明辉等 (915)
220. 基于补偿矩阵的红外焦平面阵列非均匀校正算法	徐田华等 (918)
221. 图像处理对倾斜量提取算法的有效性研究	高文静等 (923)
222. 归一化积相关匹配的快速算法	刘凡军等 (928)
223. 一种基于残余图像的细节保持模糊形态滤波算法	蒋立辉等 (931)
224. 图像边缘检测方法研究综述	段瑞玲等 (935)
225. 实用动态图像小目标跟踪算法研究	周楨等 (939)
226. 基于统计假设检验的视频对象分割技术	于跃龙等 (942)
227. 偏微分方程图像去噪模型的参数选择	谢美华等 (945)

228. 局部强干扰条件下的分块匹配与分层匹配相结合的景象匹配方案设计·····	彭双春等 (951)
229. 视频图像的场景拼接新算法·····	刘德连等 (955)
230. 基于中轴线与螺旋线的交点定位的转速测量方法·····	向 丽等 (960)
231. 复杂背景下低信噪比运动点目标检测算法研究·····	卓 宁等 (965)
232. 基于数学形态学的红外运动小目标识别算法研究·····	李俊山等 (968)
233. 红外小目标检测与跟踪的两类方法·····	许 彬等 (972)
234. 特定红外图像下斑状目标面积计算方法的初步探讨·····	李 飞等 (975)
235. 图像中梭状纵纹噪声的平滑滤除·····	洪 流等 (978)
236. 红外云背景天空图像的统计模型·····	刘 畅等 (982)
237. 基于自适应提升小波收缩阈值图像去噪算法·····	刘献民等 (987)
238. 一种新的图像清晰度评价函数·····	朱孔凤等 (992)
239. 差分吸收激光雷达监测化学毒剂的算法模型·····	李翠萍等 (997)
240. 红外压缩图像的质量评价研究·····	祁 蒙 (1002)

六 光电系统测试与仿真技术

241. 一种新颖的用于高能激光光斑在线测量的光取样器·····	陈绍武等 (1005)
242. 基于虚拟现实的光电对抗仿真系统关键技术研究·····	吴盘龙等 (1010)
243. 星敏感器安装方位对天文导航精度影响的分析与研究·····	宋利芳等 (1014)
244. 便携式光纤型IMU测控系统设计研究·····	郭恩志等 (1020)
245. 真空紫外波段在轨对日指向校准方法研究·····	陈 波等 (1024)
246. 红外成像制导光电对抗系统数字仿真评估方法·····	李 华等 (1030)
247. 光电对抗效果评估方法分析·····	艾 华 (1035)
248. 红外热像系统校准和测量方法研究·····	戴映红 (1039)
249. 红外热波无损检测技术及其在航空航天领域的应用·····	沈京玲等 (1042)
250. UV 光谱测量方法研究·····	何佑明等 (1046)
251. 某型机(舰)载电视测量跟踪器的研制·····	朱 明等 (1049)
252. 激光超声技术用于材料表面缺陷检测·····	张国平等 (1053)
253. 气动式室温红外探测器的微电容快速测试系统·····	金文贤等 (1056)
254. 雷达/红外双模导引头仿真试验模型研究·····	张继勇等 (1059)
255. 衍射法细圆柱体直径测量系统设计·····	唐文彦等 (1063)
256. 红外干扰云团检测数据处理方法的研究·····	陈乃光等 (1066)
257. 基于 FPGA 的红外光斑中心实时检测·····	陈兴美等 (1070)
258. CO ₂ 脉冲激光大光斑测量技术·····	王云萍 (1075)
259. 单片机在激光远场光斑直接测量系统中的应用研究·····	朱 震等 (1080)
260. 基于双横向效应 PSD 的高精度光位置检测仪·····	刘鸿飞等 (1084)
261. 光栅在激光测量中应用的可行性·····	张永生等 (1089)
262. 基于 Mie 散射理论的微球体颗粒半径测量装置的分析与设计·····	孙国正等 (1092)
263. 一种激光水平度检测仪的设计与研究·····	李育新等 (1096)
264. 基于白光干涉特性的透明介质折射率测量·····	赵 玮等 (1099)
265. 便携式 MRTD 检测仪研究·····	乔胜军 (1102)

七 光电系统应用

266. 全固态激光技术在航天领域的应用.....施翔春等 (1105)
267. 基于非线性最优化的摄像机标定方法.....郭军海等 (1110)
268. 光电信息工程研究与发展趋势.....刘文耀 (1115)
269. 差分光学吸收光谱技术在城市空气质量监测中的应用研究.....刘建国等 (1119)
270. 一种标定摄像机径向畸变中心和畸变系数的新方法.....贾晓东等 (1124)
271. 气象数据对大气透过率的影响.....赵雪松等 (1127)
272. 环境温度对傅里叶变换红外光谱仪的探测极限的影响.....徐 亮等 (1131)
273. 双散射角光学粒子计数器测量大气能见度.....胡欢陵等 (1135)
274. 神经网络在导弹设备电路板红外诊断中的应用.....王跃钢等 (1140)
275. 遥感图像数据动态管理系统.....陈 华等 (1143)
276. 航天光学遥感的图像质量方程.....周胜利等 (1147)
277. 基于 DSP 的多路数据采集与处理平台.....马永忠等 (1150)
278. FIFO 在多级滤波图像处理 ASIC 芯片中的设计应用.....陈朝阳等 (1154)
279. 基于虚拟仪器的双波段扫描辐射计软硬件实现.....曲卫东等 (1157)
280. 光学加密防伪技术.....刘 莉等 (1160)
281. 基于便携装置的 DC-DC 电源设计.....王明超 (1164)
282. 一种快速倍频切换装置的设计.....吕华昌等 (1171)

八 文 摘

283. 红外辐射探测材料研究进展.....褚君浩 (1175)
284. 用超快激光研究 $C_{22}H_{22}N_4O$ 染料的多光子吸收荧光饱和特性.....王玉晓等 (1175)
285. 基于非线性光学原理的激光防护技术.....宋璞林等 (1176)
286. 金属团簇化合物掺杂高聚物的光限幅.....杨 昆等 (1176)
287. 一种测量相变薄膜结晶活化能的新方法.....张学如等 (1177)
288. 红外焦平面成像器件发展和应用现状.....陈伯良 (1177)
289. 双包层光纤激光技术.....楼祺洪等 (1177)
290. 导弹目标防热红外伪装网的技术途径.....王家营 (1178)
291. 烟幕伪装与光电对抗.....王家营等 (1178)
292. 合成孔径雷达与导弹阵地伪装.....王家营等 (1178)
293. 低频副载波复用对光信号性能损伤影响的理论模型及分析.....王 岩等 (1179)
294. 基于小波域极大似然方法的光纤陀螺随机噪声参数估计.....张传斌等 (1179)
295. 大口径离轴非球面数控加工与检测技术.....张学军 (1179)
296. 基于 OCS 船用 GINS 非自主式初始对准方法.....卞鸿巍等 (1180)
297. 基于光学相关器的光电混合指纹识别技术.....袁怡圆等 (1180)
298. 单 CCD 相机人体步态测量系统的研究.....雷玉堂等 (1180)
299. 牌照信息的自动提取与识别.....张怀利等 (1181)
300. 基于统计信号处理的图像融合技术研究.....曹治国等 (1181)
301. 基于模拟退火-单纯型法的图像配准目标函数的最优化.....曹治国等 (1181)

302. 红外小目标的特性与检测方法·····	韦萍兰 (1181)
303. 支持向量机在非线形分类辨识中的应用·····	陆 波等 (1182)
304. 光电技术学科类专业人才培养的发展战略的初步研究·····	张在宣 (1182)
305. 空间光通信发展历史及最新进展简述·····	马惠军 (1182)
306. 光纤通信系统中孤子相互作用的探析·····	马 慧等 (1183)
307. 全光网络技术的发展现状与趋势·····	包 彤 (1183)
308. 用 DOAS 法测量厦门地区大气中 NO_2 的浓度·····	徐红鹃等 (1183)
309. 光传播辐射的一般条件·····	刘建军等 (1183)
310. 梳状一维位置敏感探测器(PSD)的研制·····	唐九耀等 (1183)
311. 论各类自动调焦技术及其优劣·····	雷玉堂等 (1184)
312. 枕型二维位置敏感探测器(PSD)的研制·····	唐九耀等 (1184)
313. 飞秒脉冲激光引起光学损伤的理论研究·····	彭玉峰等 (1184)
314. 飞秒激光在金属纳米材料制备中的应用·····	孟宪庚等 (1184)
315. 空间红外传感器探测性能分析·····	邓 盼 (1184)
316. 用倒置准直望远镜测量微激光束发散角的分析·····	余新鹏等 (1185)
317. 人气湍流基本特征与变化特性分析·····	强希文 (1185)
318. 1550nm 光预准直模块的研制与测量发散角的实验·····	张宪亮等 (1185)
319. 红外隐身涂层的热图研究·····	王自荣等 (1185)
320. 白宝石晶体的强度研究及强化技术进展·····	张俊计等 (1186)
321. 大尺寸光学级铌酸锂晶体的生长及检测·····	孔勇发等 (1186)
322. 层状随机分布的光子晶体光纤·····	朱 敏等 (1186)
323. 多种物质的远红外吸收研究·····	陈治平等 (1186)
324. 大口径离轴抛物面的几种加工方法及结果·····	李德培 (1186)
325. 关于陀螺仪的测试·····	马晓飞 (1187)
326. 一体化陀螺瞄准仪的发展需求论证·····	王悦勇等 (1187)
327. 过载振动复合环境下平台惯导系统仿真分析·····	王跃钢等 (1187)
328. 基于小波变换边缘增强的数字散斑相关测量·····	赵 玮等 (1187)
329. 红外热成像系统海上监测应用中工作波段选择的思考·····	崔麦会等 (1188)
330. 红外探测器响应光谱的自动测试分析与软件校正·····	孔令才等 (1188)
331. 激光散斑与探测角度之间关系的研究·····	王建新等 (1188)
332. 激光武器对红外点源导引头破坏的研究·····	刘延武等 (1188)
333. 灵敏实用的单片机控制激光平面探测电路·····	解生冕等 (1188)
334. 基于结构光投影的联合变换相关器·····	黄黎红 (1189)
335. 锗基底 $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\mu\text{m}$ 双波段兼容高性能红外减反膜的研究·····	潘永强等 (1189)
336. 红外热像检测复合材料的缺陷·····	金永君 (1189)
337. 用 LCD 液晶屏一步法制作真彩色彩虹全息技术·····	金伟民 (1189)
338. 计算机模拟计算全息图的研究·····	盛兆玄等 (1189)
339. 基于计算全息技术实现二维 Haar 小波变换的研究·····	盛兆玄等 (1190)
340. 高速数字电路的设计和仿真·····	苏海冰等 (1190)
341. 基于数学形态学的机场跑道自动识别方法·····	吴盘龙等 (1190)
342. 棱镜虚像问题分析·····	严桂兰 (1190)

343. 化学毒剂激光遥测报警系统的数学模型、LIDAR 方程及信号处理.....张国胜等 (1191)
344. 激光诱变选育低双乙酰啤酒酵母.....张智维等 (1191)
345. 新一代高功率固体绿光/红外激光器及其科研应用——薄片式 Yb: YAG 激光器
..... 张志伟等 (1191)
346. 大口径离轴非球面数控加工与检测技术.....张学军 (1191)
347. 成像制导算法仿真评估系统.....崔宝生等 (1192)
348. 数字全息图像重建的一种新方法.....郑德香等 (1192)
349. 激光目标指示器参数选择分析.....欧阳艺等 (1192)
350. 光电多模数据融合目标识别研究.....王继光等 (1192)
351. DSP 的白举引导方法的应用研究.....刘荣晖 (1192)
352. 几种提高 PLD 技术中成膜均匀性方法研究.....叶景峰等 (1193)

超轻型高分辨率空间 CCD 相机的光机设计

沈为民 张耀民 余建军 沈江 薛鸣球
(苏州大学现代光学技术研究所 苏州 215006)

摘 要: 分析研究超轻型高分辨率 CCD 相机的技术指标及其实现途径, 指出为了达到超轻和高分辨要求, 有必要从总体设计、到元件研制、到材料选用, 进行全面优化设计。指出为了实现要求的像元分辨率和静态传递函数值指标, 光学系统的口径不能小于理论极限值。通过优化设计得到了满足要求的具有极限口径和极限性能的三反光学系统, 具有同轴、主次镜准消球差、视场大、无二次遮拦、可设置视场消杂光光栏等优点。结构上通过采用无镜框背面-中心支撑桁架式结构和轻质、性能可设计的复合材料, 并通过软件工程分析和优化, 得到体积小和重量轻的高精度和高稳定度光机结构。

关键词: 空间相机; 超轻型; 高分辨率; 光学设计; 光机结构

1. 引 言

空间光学遥感器是现代军事强国的必要装备, 是情报收集、监视、侦察、预警和掌握制信息权的最主要手段。个别经济、科技、军事力量超强的国家, 如美国和前苏联, 已成功发射和部署了大型的高分辨率空间光学侦察卫星, 美国最新的 8X 卫星口径超过了 4m, 长度接近 19m, 重量约 20t, 地面分辨率达 0.1m, 但其研制难度大、周期长、费用高、要求极强的运载能力。

本文给出一种超轻型高分辨率(1米) CCD 空间相机的光学和机械设计, 指出为了达到超轻和高分辨要求, 有必要从总体设计、到元件研制、到材料选用, 进行全面优化设计。指出为了实现要求的像元分辨率和静态传递函数值指标, 光学系统的口径不能小于理论极限值。通过优化设计得到了满足要求的具有极限口径和极限性能的三反光学系统。结构上通过采用无镜框背面-中心支撑桁架式结构和轻质、性能可设计的复合材料, 并通过大型软件工程分析和优化, 得到体积小和重量轻的高精度和高稳定度光机结构。

2. 确定基本参数

通常要求 CCD 空间相机在奈奎斯特空间频率处的静态 MTF 值等于或高于 0.2, 约是瑞利判据下的 MTF 值的 2 倍。空间相机的静态 MTF 等于各个分系统的级联, 对于空间频率相机的静态 MTF 可表示为:

$$MTF_{Camera}(\rho) = M_{optics} M_{CCD} MTF_{Electronics}(\rho) MTF_{ideal-optics}(\rho) MTF_{sample}(\rho) \quad (1)$$

式中: MTF_{sample} 是采样过程的 MTF ; $MTF_{ideal-optics}$ 是理想光学系统的 MTF ; $MTF_{electronics}$ 是电子电路的 MTF , 取 0.98; M_{optics} 是光学光机制造误差引起的 MTF 衰减, 取 0.85; M_{CCD} 是 CCD 像元势阱横向扩散等效效应引起的 MTF 衰减, 取 0.85。

采样过程 MTF (为简单起见采用一维表达式) 由下式给出

$$MTF_{sample}(\rho) = \frac{\sin \pi a \rho}{\pi a \rho} = \frac{\sin \pi b P}{\pi b P} \quad \rho \leq \rho_N \quad P = G\rho \leq \frac{1}{2} \quad b = \frac{a}{G} \quad (2)$$

式中: a 是采样脉冲宽度; b 是采样脉冲的占空比; P 是用采样频率 ($1/G$, G 是采样间距) 归一化的空间频率; ρ_N 是奈奎斯特空间频率, 等于 $1/2G$ 。表明采样 MTF_{sample} 仅与采样脉冲宽度有关, 它随

采样脉冲占空比的变化, 占空比愈小, 传函值愈高。目前绝大多数 CCD 探测器的占空比 $b \approx 1$, 故在奈奎斯特频率处, 采样 MTF_{sample} 可取等于 0.64。

根据以上分析, 由式 (1) 可得到, 为使相机在奈奎斯特频率处的静态 MTF 高于 0.2, 要求光学系统 MTF 设计值满足:

$$MTF_{\text{ideal-optics}}(\rho_N) \geq 0.4365 \quad (3)$$

对于无遮拦、圆光瞳、理想光学系统, 调制传递函数由下式给出:

$$MTF_{\text{ideal-optics}}(\rho) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \left[\cos^{-1} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) - \frac{\rho}{\rho_0} \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2} \right] & \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \rho \geq \rho_0 \end{cases} \quad (4)$$

式中: ρ_0 是光学系统的截止空间频率, 对于物空间, $\rho_0 = D/\lambda H$; 对于像空间, $\rho_0 = D/\lambda f'$ 。 D 是光学系统的入瞳直径。利用式 (4), 解式 (3), 可得:

$$D \geq \frac{1.089\lambda}{G/H} = \frac{1.089\lambda}{p/f'} \quad (5)$$

表明对口径的要求由像元角分辨率 ($G/H = p/f'$) 要求决定。隐含的物理意义是: 像方线分辨率 (p) 由像方相对孔径 (D/f') 确定, 物方分辨率 (G) 由物方相对孔径 (D/H) 确定。超轻型高分辨率相机指标要求: $G=1\text{m}$, $H=500\text{km}$, $\lambda=0.65\mu\text{m}$; 代入上式 (5), 可得要求光学系统的口径 $D \geq 354\text{mm}$ 。

3. 光学优化设计

借鉴国内外研制轻小型空间相机的经验, 经优化设计得到的光学系统如图 1 所示, 它具有如下优点: 主、次、三镜同轴。IKONOS 相机利用主镜的离轴使用, 避免折转平面镜的二次拦光, 这里通过偏视场使用, 达到此目的, 降低了研制难度; 折转平面镜远离中间像面, 避免了平面镜上的缺陷导致的图像缺损; 主、次镜同轴, 且准消球差, 十分有利于克服三镜系统装调难这一问题; 具有更小的光学长度和焦距之比值不到 1: 10, 故具有更为紧凑的结构。

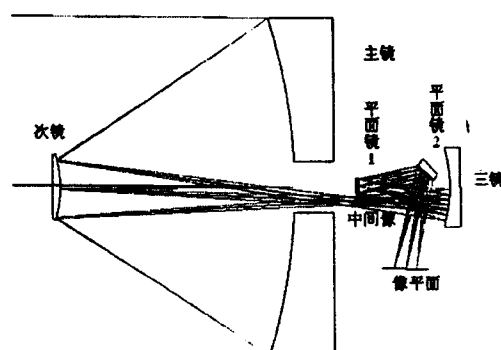


图 1 优化设计得到的光学系统

优化设计结果的主镜通光口径为 $\phi 385\text{mm}$, 次镜顶点到三镜顶点的光学长度等于 450mm 。主要技术指标如

下: 波长范围 $0.50 \sim 0.80\mu\text{m}$; 焦距 5m ; 全视场角 $1.35^\circ \times 0.3^\circ$; 地面覆盖 12km (轨道高度 500km 时); 入瞳直径 385mm ; 相对孔径 $F/13$; 像面尺寸 $120\text{mm} \times 26\text{mm}$; 光学长度 450mm 。

像面视场 $(X, Y) = (0, 13), (-10, 13), (-20, 13), (-20, -13), (-30, -13), (-40, -13), (-50, -13), (-60, -13)\text{mm}$ 处, 得到光学设计 MTF 曲线如图 2, 相应地 50lp/mm 奈奎斯特频率处的全视场全波段 MTF 平均值为 0.436, 十分接近于理论极限。

为了便于三反射镜光学系统的装调, 要求主次镜具有消球差的特性, 通过无或准无球差特性首先调整好, 或初调好主镜和次镜, 进一步调整三镜, 并利用计算机辅助装调技术, 完成对整个光学系统的精调。主次镜构成的准无球差光学系统如图 3 所示, 平行于光轴入射的平面单色光, 经主镜、次镜反射会聚成像在主镜后面, 此像点的残余波像差如图 4 所示。波差 PV 值低于 0.212λ ($\lambda=0.633\mu\text{m}$), 小于 $1/4$ 个波长, 成像性能衍射极限, 准无球差, 波差的 RMS 值为 0.06λ 。

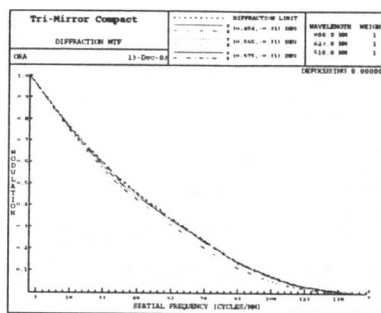
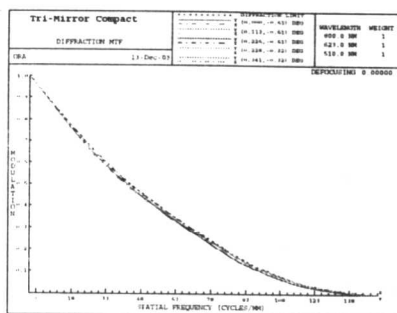


图2 光学系统 MTF 曲线

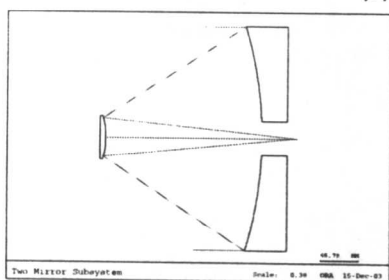


图3 准无球差主次镜系统

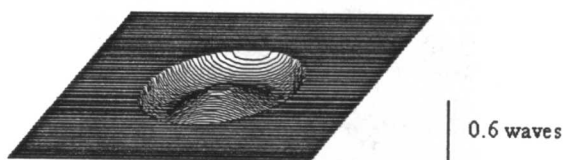


图4 准无球差主次镜系统的波像差

4. 结构设计与分析

利用 MSC.patran,nastran 软件进行轻量化分析与设计,在尽可能减小相机重量体积的同时,调整其自然频率,改善相机动力学特性,减少光学元件的热惯性和结构的重力变形。分析和优化主镜及其支撑结构的轻量化结构和支撑方式。利用 MSC.patran 和 nastran 软件进行分析和设计研究。

对于此超轻相机选用 PEEK 碳纤维复合材料,它具有热性能可设计性、比强度和比刚度高、密度小(长纤维型密度为 1.56g/cm^3 ,短纤维型密度为 1.44g/cm^3)、具有大体积复杂结构可成型性等优点。具体地采用长纤维型 PEEK 材料制作前镜身、三镜框、转向镜座、遮光罩等零件,采用 PEEK 长、短纤维相结合的方案制作后镜身,采用短纤维 PEEK 材料制作底座等。相机总体结构采用无镜框中心桁架式结构,如图 5 所示。后镜身支撑重量较大的前镜身和 CCD 图像接收器组件,包含三镜组件和转向平面镜组件,考虑到光学系统密封需要,后镜身采用箱体式结构。其前方结构与前镜身组件相连,上方安装 CCD 成像器件。

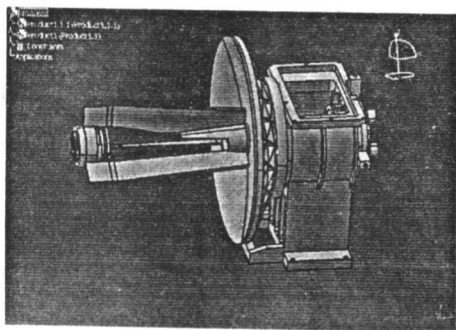


图5 镜头结构外形图

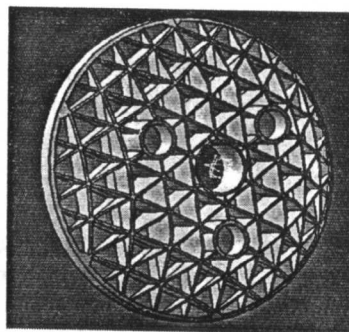


图6 主镜轻量化结构

为了实现超轻设计,需要对主镜和后镜身结构件进行轻量化设计。通过对多种主反射镜轻量化结构进行有限元建模、分析与比较,择优选用薄边蜂窝状轻量化结构,如图 6 所示。采取背部三点支撑与中心支撑相结合的方案,以背部支撑为主,中心支撑为辅,背部支撑三点所在圆为 $\Phi=186$ 。

在采用 SiC 材料时,重量为 4.81 kg,轻量化系数 71%。面形误差 $RMS \leq 0.281nm$, PV 值为 50.7nm,满足光学系统设计要求的面形精度 $1/40\lambda$ (RMS)。

为最大限度地减轻镜头重量,保证动态刚度,使得相机能够经受从地面装调试验到轨道空间等一系列力学环境的考验,特别是能够顺利通过严酷的发射力学环境;通过对镜头进行模态分析,验证其结构设计的合理性和改进设计,为相机的力学环境试验等提供数据基础。对于整个镜头的模态分析结果如图 7 所示,镜头基频为 201.65Hz,模态为前镜身构件 Z 向悬臂模态;二阶频率为 249.1Hz,模态为前镜身构件 X 向悬臂模态;三阶频率为 273.9Hz,模态为前镜身构件 Y 轴扭转模态。它们均发生在前镜身组件的次镜处。表明镜头整体的动态性能满足要求。



图 7 镜头模型 (a) 及一阶 (b) 模态

在主要光学元件与结构件材料采用 SiC 和 PEEK 复合材料的情况下,经设计得到镜头结构的主要性能如下:镜头外形最大尺寸为 $419 \times 580mm$;重量 15kg;基频 201.65Hz;静态下结构件的最大变形为 $4.35e-3mm$;在温度变化 $3^\circ C$ 情况下,反射镜片之间间隔最大变化量为 $0.13\mu m$;可实现的调整灵敏度为几十纳米,最大调整量为十几毫米。

5. 结论

设计得到了口径和光学成像性能接近于理论极限的长焦距偏视场共轴三反射镜光学系统,焦距 5m,光学长度仅 450mm,口径 391mm,视场角能满足轨道高度 500km 时,地面 12km 覆盖宽度。它不仅能满足指标要求,且尺寸小、三块二次非球面反射镜的光轴与机械轴同轴,主次镜准消球差,无二次遮拦。在中间像处设置视场光栏,将便于消杂光,减小外遮光罩长度。光学系统的小相对口径有利于降低热离焦对像质的影响,有利于缓解图像中高空间频率分量的混叠。

通过对多种镜头结构方案的有限元分析计算,确定优先采用无镜框中心支撑与固定的桁架式结构。采用并分析了主反射镜背面与中心相结合的支撑固定结构方式。从高刚度、低密度、可设计性和轻量化的角度选用碳纤维复合材料作为镜头主要结构件的材料。设计得到的镜头长度小于 600mm,重量小于 15kg,自然频率大于 200Hz。

参考文献

- [1] 薛鸣球,沈为民,潘君骅;“航天遥感用光学系统”,现代光学与光子学的进展—庆祝王大珩院士从事科研活动六十五周年专集,红外与激光工程编辑部编,天津科学技术出版社,天津,2003年2月第1版,243~265
- [2] 赵秋艳,“美国成像侦察卫星的发展”,光机电信息,2001,(10):15~23
- [3] K.R.Castleman; Digital Image Processing; Prentice-Hall International, Inc., 1998, p351-385
- [4] <http://www.fes.uwaterloo.ca/crs/geog376.f2001/Satellites/IKONOS.html>
- [5] John W. Figoski; “The QuickBird telescope: the reality of large, high-quality, commercial space optics”; Proc. SPIE, Vol.3779, July 1999, p22-30
- [6] Patrice Damilano; “Pleiades High Resolution Satellite: a Solution for Military and Civilian Needs in Metric-Class Optical Observation,” 15th Annual/USU Conference on Small Satellites

折/衍混合超光谱红外成像光谱仪离轴系统设计*

杨新军 王肇圻 母国光

(南开大学、天津大学联合研究院 南开大学现代光学研究所

光电信息技术科学教育部重点实验室 天津 300071)

摘要: 本文对采用二元光学元件的红外超光谱成像光谱仪的设计理论进行了分析, 并从军事目标的红外热探测的基本要求出发, 给出了具体的设计实例。实例首次采用结合离轴三反系统的折/衍混合变焦光学系统。设计结果表明, 系统具有设计精巧、结构简单、光能接收率高、很好的消像差特性、对材料的要求低以及满意的红外焦平面凝视阵列探测器的配准精度和探测精度。

关键词: 超光谱成像; 二元光学元件; 变焦光学系统

1. 引言

近年来超光谱成像技术发展很快, 军用、民用和商用领域对这种成像技术的需求越来越多。超光谱成像技术是一种将光学、光谱学、精密机械、电子技术及计算机技术融于一体的新型成像技术。超光谱成像技术主要特征是光谱带宽窄, 可以对目标进行详细深入了解, 以便进行正确的分析、判断和决策。

欧美等国先后投入了大量人力和物力对成像光谱仪进行研究, 已发展了多种色散型、计算层析型和干涉傅里叶变换类型的超光谱成像技术, 并在实际系统中得到应用^[1-2]。美国光量子中心罗姆实验室的 Lyons^[3]在 1995 年 4 月国际光学工程学会上, 提出一种新颖结构, 利用二元光学透镜独特的色散特性设计出用于可见或红外光谱范围的成像光谱仪, 它能够在波长相邻、连续采样的窄带光谱波段上获得数十至数百个通道光谱图像, 利用这种高光谱分辨率的超光谱图像数据, 可以根据地球表面众多物体的光谱特征精确地识别目标。另外此光谱仪光学系统简单, 体积小、重量轻、坚固耐用、价格低廉, 便于实现小型化和轻量化。但由于二元光学透镜既是分光元件又是成像元件, 其焦距随波长的变化改变了系统的 F 数, 因此改变了系统的放大率, 这将引起光谱图像的像元配准误差, 影响探测精度, 甚至混淆被探测目标。并且此光谱仪光能透过率低, 集光能力差。

本文将离轴三反系统与光学变焦系统相结合, 从而使系统的放大率保持了恒定, 并提高了系统的集光能力。设计了一个应用实例, 具体设计结果表明, 这样的光学系统不仅结构简单, 具有 100% 的冷光栏效应, 而且具有优良超光谱成像能力和光学性能。

2. 设计思想

在二元光学超光谱成像仪中, 二元光学透镜既是分光元件又是成像元件^[4], 二元光学透镜的焦距随波长变化改变了系统的 F 数, 因此改变了系统的放大率, 即系统放大率是波长的函数, 这将引起光谱图像的像元配准误差, 得到并不精确的相对光谱信号强度。采用具有变焦组元的二元光学超光谱成像系统可补偿这一缺陷^[5], 如图 1 所示。

*基金项目: 国家自然科学基金资助 (60277021); 南开大学、天津大学联合研究院资助课题。

